



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA CAL HIDRATADA EN MEZCLAS ASFALTICAS
DRENANTES.**

PRESENTADO POR:

FABIAN RICARDO ZAMORA CASTILLO

COD. 505641

ELEAZAR MASAH MORA ALDANA

COD. 505603

DOCENTE ASESOR

ING. JUAN GABRIEL BASTIDAS MARTINEZ

BOGOTÁ, D. C. ABRIL DEL 2019

PERIODO 2019-I

PROGRAMA ACADEMICO: INGENIERIA CIVIL

FABIAN RICARDO ZAMORA CASTILLO

COD. 505641

ELEAZAR MASAH MORA ALDANA

COD. 505603

DIRECTOR SUGERIDO: ING. JUAN GABRIEL BASTIDAS MARTINEZ

ALTERNATIVA. TRABAJO DE INVESTIGACION

TITULO

INFLUENCIA DE LA CAL HIDRATADA EN MEZCLAS ASFALTICAS
DRENANTES.

ALTERNATIVA

Trabajo De Investigación

LINEA DE INVESTIGACION

Asfaltos modificados.

EJE TEMATICO

Pavimentos y laboratorio.



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

TABLA DE CONTENIDO

FACULTAD DE INGENIERÍA	1
TITULO	3
ALTERNATIVA.....	3
Trabajo De Investigación	3
LINEA DE INVESTIGACION.....	3
Asfaltos modificados.	3
EJE TEMATICO	3
Pavimentos y laboratorio.....	3
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION.....	11
2.1 ANTECEDENTES.....	11
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
4. MARCO DE REFERENCIA.....	19
4.1. MARCO TEÓRICO	19
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	21
5. OBJETIVOS	22
5.1. Objetivo General.....	22
5.2. Objetivos específicos.....	22
6. ALCANCE Y LIMITACIONES	23
7. METODOLOGÍA	24
8. DISEÑO METODOLOGICO.....	25
8.1 ETAPA 1	25
CARACTERIZACION DE MATERIALES:	25
8.2 ETAPA 2	32
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA:	32
12. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACION	55
13. BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 .Cal agregada a la mezcla caliente en varios modos (al agregado o al betún) afecta fuertemente a la resistencia a la corrosión de la mezcla, incluso bajo alta temperatura y humedad	13
Ilustración 2 La cal hidratada mejora resistencia a baja temperatura de la cal modificada Betún	13
Ilustración 3 La cal hidratada añadida al betún mejora la dureza del Betún y mejora la fatiga de la vida cuando se compara con la mezcla idéntica sin cal	14
Ilustración 4 Concreto poroso permite que a agua pase por los poros del agregado	19
Ilustración 5 Asfalto típico drenante Diseño y características.....	20
Ilustración 6 esquema de funcionamiento de asfalto drenante.....	20
Ilustración 7Especificaciones de mezcla asfáltica 60-70	26
Ilustración 8 Hidróxido de calcio de alta pureza	27
Ilustración 9 Ficha técnica Cal 90 (hidróxido de calcio) aportada por fabricante ...	28
Ilustración 10 Alistamiento de material	
Ilustración 11 Material debidamente tamizado	29
Ilustración 12 Valor óptimo para ensayo	
Ilustración 13 Vertimiento de suelo al Picnómetro	30
Ilustración 14 Agitación manual	
Ilustración 15 Agitación Mecánica.....	30
Ilustración 18 Reducción de mezcla según INV E-202	
Ilustración 19 Obtención de material que pasa tamiz No4.	31
Ilustración 20 Asentamiento de material	31
Ilustración 21 Agregado Sin filler ni Asfalto	
Ilustración 22 Adición de asfalto a mezcla de control.....	33
Ilustración 23 Mezcla entre asfalto y agregados	
Ilustración 24 Adición de mezcla asfáltica a probeta	34
Ilustración 25 Compactación de mezcla asfáltica	
Ilustración 26 resultado para nueve briquetas.....	34
Ilustración 27 Agregado con sustitución	
Ilustración 28 Mezcla en Caliente.....	35

Ilustración 29 Temperatura ideal antes de compactación	
Ilustración 30 adición de mezcla asfáltica a probeta.....	36
Ilustración 31 Golpes con palustre caliente	
Ilustración 32 Resultado para nueve briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL.....	36
Ilustración 33 Distribución de agregados más CAL.	
Ilustración 34 Mezcla entre asfalto, CAL y agregado.....	37
Ilustración 35 Temperatura con termómetro digital	
Ilustración 36 Compactación de briquetas.....	38
Ilustración 37 Probeta con sustitución del 50% de filler por CAL	
Ilustración 38 Resultado para nueve briquetas.....	38
Ilustración 39 27 Briquetas con diferente tipo de sustitución	39
Ilustración 40 Peso de briqueta con vinipel.	
Ilustración 41 Peso de briqueta 3C con vinipel	39
Ilustración 42 Peso Sumergido de briqueta con vinipel	
Ilustración 43 Peso sumergido de briqueta 2E.....	43
Ilustración 44 Falla a tracción de briqueta 2I	
Ilustración 45 Falla a tracción de briqueta 2h.....	46
Ilustración 46 Falla a tracción de briqueta 1g.....	46
Ilustración 47 Briquetas sumergidas a 60°C	
Ilustración 48 Falla a tracción de briqueta 3e.....	49
Ilustración 49 Briquetas antes de someterlas a máquina de los ángeles.	
Ilustración 50 Briquetas después de someterlas a máquina de los ángeles.....	50
Ilustración 51 Briquetas sometidas a tracción y abrasión.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Densidades de agregados (grueso-medio-fino).	29
Tabla 2 valores para Muestras de control	33
Tabla 3 Valores para sustitución del 100 % de filler por llenante mineral (CAL)....	35
Tabla 4 Valores para sustitución del 50 % de filler por llenante mineral (CAL).....	37
Tabla 5 Pesos, Alturas y diámetros de briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL.	40
Tabla 6 Porcentaje total de vacíos para briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL	42
Tabla 7 Densidad Relativa para cada agregado según el tamizado.....	42
Tabla 8 Pesos, Alturas y diámetros de briquetas con sustitución del 50% de filler por CAL.	43
Tabla 9 Porcentaje total de vacíos para briquetas con sustitución del 50% de filler por CAL	44
Tabla 10 Pesos, Alturas y diámetros para briquetas de control	44
Tabla 11 Porcentaje total de vacíos para briquetas de control	45
Tabla 12 Densidad Relativa para cada agregado según el tamizado.....	45
Tabla 13 Resultados de fallo a tracción seca, carga máxima (3 tipos de Briqueta)	47
Tabla 14 Resultados de fallo a tracción húmeda (3 tipos de Briqueta)	48
Tabla 15 Masa inicial VS masa final de briquetas sometidas a abrasión (máquina de los ángeles)	51
Tabla 16 Porcentaje (%) de desgaste para briquetas sometidas a abrasión	51

LISTA DE GRAFICAS

grafica 1 Metodología -Etapa 1	24
grafica 2 Metodología -Etapa 2	24
grafica 3 Metodología -Etapa 3	25
grafica 4 Comparación de fallo a Tracción seca según el tipo de sustitución por CAL.	48
grafica 5 Comparación de fallo a Tracción húmeda según el tipo de sustitución por CAL	49
grafica 6 Comparativo entre muestras según su porcentaje de desgaste	52

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país la red vial juega un papel supremamente importante en la economía, por ello es necesario tener infraestructuras de carreteras modernas y en muy buen estado para que exista una conexión entre ciudades principales y departamentos.

Los pavimentos de mezclas asfálticas en caliente que actualmente se encuentran en el país tienen un buen diseño geométrico, la construcción de estas estructuras se hacen bajo requerimientos y requisitos de normas que estipula el INVIAS; sin embargo, muchas veces se observa que estas no cumplen con un tiempo de vida útil para el cual fueron diseñadas, así mismo se ve reflejado el rápido deterioro después de un lapso corto de tiempo posterior a su construcción. Una de las patologías más comunes en carreteras de nuestro país es el fenómeno llamado “piel de cocodrilo”, esta patología es el fisuramiento de la capa asfáltica debido al paso del tránsito.

La necesidad que se presenta actualmente en nuestra red vial principalmente en vías secundarias es la búsqueda de materiales y mezclas que nos puedan favorecer en la construcción de estas estructuras para que cumplan primordialmente con el tiempo de vida útil, que cumplan parámetros muy importantes como adherencia, firmeza, mayor resistencia al deslizamiento sobre la superficie mojada, reducción del ruido del tráfico, eliminación del hidroplaneo.

La Cal es uno de los productos químicos básicos que se obtiene a partir de la calcinación de piedra caliza (Carbonato de Calcio), proceso en el cual se adquiere la cal viva (Oxido de Calcio) que al entrar en contacto con el agua se convertirá en Cal hidratada (Hidróxido de Calcio).

El trabajo de investigación se enfoca en la modificación de un diseño de mezcla asfáltica en caliente drenante, llevado a cabo mediante el método Marshall, para así determinar el contenido óptimo de asfalto, cumpliendo con los criterios volumétricos y de resistencia. Donde la capa de rodadura principalmente se ve afectada por efectos climáticos y es la primera que entra en contacto con el tránsito.

Se quiere determinar que influencia tiene la cal sobre mezclas asfálticas por medio de la sustitución de Cal hidratada ((Hidróxido de Calcio) de una manera porcentual en los agregados finos, para una mezcla asfáltica tipo drenante, se seguirá lineamientos y especificaciones del artículo 453-13 del INVIAS (mezcla drenante). De igual forma se determinará el papel que juega la Cal hidratada en otros aspectos como lo es la humedad, resistencia y permeabilidad.

La Cal hidratada trabajara como llenante mineral sustituyendo porcentualmente los

agregados más finos. Normalmente el trabajo con Cal hidratada que se realiza en mezclas asfálticas donde se hace una adición de este material para mejorar características de adherencia.

La investigación que se quiere llevar a cabo partirá de la caracterización en los agregados que se van a utilizar para obtener la muestra control, es allí donde se tendrá en cuenta que los materiales ya deberán haber pasado por una serie de ensayos los cuales deberán cumplir requisitos impuestos por el Instituto Nacional de Vías.

Los ensayos según las especificaciones generales de construcción de carreteras son : Desgaste en la máquina de los ángeles (*INV E-218*) , Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval (*INV E-238*), Resistencia mecánica por el método del 10% de finos (*INV E-224*) , Impurezas en agregados gruesos (*INV E-237*), Caras fracturadas (*INV E-227*), Equivalente de arena (*INV E-133*) , Índice de plasticidad (*INV E-126 / INV E-127*) , Granulometría del llenante mineral de aporte (*INV E-215*) , Vacíos del llenante seco compactado (*INV E-229*) , Densidad Bulk (*INV E-225*).

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

2.1 ANTECEDENTES

Se realizó una tesis con una finalidad muy similar donde se evidenció un análisis comparativo de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos de aire (propiedades físico - mecánicas), de una Mezcla Asfáltica en Caliente Tradicional con un porcentaje óptimo de cal, respecto a una Mezcla Asfáltica en Caliente fabricada con asfalto modificado con polímero Estireno-Butadieno-Estireno. Fue necesaria la fabricación de una tercera mezcla asfáltica, denominada Mezcla Asfáltica en Caliente Tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN (penetración), ya que en función a las propiedades físico-mecánicas de esta mezcla asfáltica se pudo realizar un mejor análisis comparativo de los resultados obtenidos.

“El trabajo de investigación buscó mejorar las propiedades físico - mecánicas de la Mezcla Asfáltica en Caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN (penetración), a través de la sustitución en peso de porcentajes de agregado por cal, en el cual se buscó obtener el porcentaje de sustitución que brinda mejores resultados a las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente tradicional, este porcentaje de sustitución que brindó mejores resultados a las propiedades físico - mecánicas, se denominó, Porcentaje Óptimo de Cal.” (Chacón Sánchez, Víctor Paucarmayta Olarte, Franks, Santa Cruz Valverde, José Antonio, 2017).

Este análisis comparativo de las propiedades físico- mecánicas se realizó mediante el método de diseño de mezclas asfálticas en caliente “Marshall”, cuyo objetivo es determinar el porcentaje óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados; para lo cual se fabricaron especímenes de mezcla asfáltica en caliente; los mismos que están compuestos por distintos porcentajes de asfalto (5, 5.5, 6, 6.5, 7%) y Cal (1, 1.5, 2, 2.5, 3%), estos especímenes fueron sometidos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas (porcentaje de vacíos de aire, densidad) y mecánicas (estabilidad, flujo). (Chacón Sánchez, Víctor Paucarmayta Olarte, Franks, Santa Cruz Valverde, José Antonio, 2017).

En función a estos resultados y la normativa del manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, se obtuvo un porcentaje de sustitución en peso de agregado por cal óptima del 2.5% en una Mezcla Asfáltica en Caliente. Se logró comparar las propiedades físico-mecánicas estudiadas, llegando a la siguiente conclusión: La mezcla asfáltica en caliente tradicional fabricada con asfalto 85-100 PEN y un porcentaje óptimo de cal del 2.5 % brinda mayores beneficios y menores costos en sus recursos materiales que la Mezcla Asfáltica en Caliente fabricada con asfalto modificado con polímero Estireno-Butadieno-Estireno.

(SBS) marca (BETUTEC 60T).

Como se evidencia en los documentos de referencia, se identifica una secuencia en el análisis de la investigación, el cual es, la información bibliográfica para el soporte de técnico del estudio, Los documentos mencionados son los soportes que fundamentan

directamente el presente análisis *“Análisis comparativo de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y costos de una mezcla asfáltica tradicional con porcentajes de cal, respecto a una mezcla asfáltica modificada con polímero, fabricada con materiales de la planta de asfalto de la municipalidad del Cusco.”* (Chacón Sánchez, Víctor Paucarmayta Olarte, Franks, Santa Cruz Valverde, José Antonio, 2017).

LOS BENEFICIOS DE LA CAL HIDRATAR COMO RELLENO MINERAL Y AL MITIGAR EL EFECTOS DEL ENVEJECIMIENTO OXIDATIVO

Esta sección presenta investigaciones sobre beneficios multifuncionales de la cal hidratada con más detalle. La investigación ha sido llevado a cabo en todo el mundo, en el Estados Unidos, Europa.

INVESTIGACIÓN DE ESTADOS UNIDOS

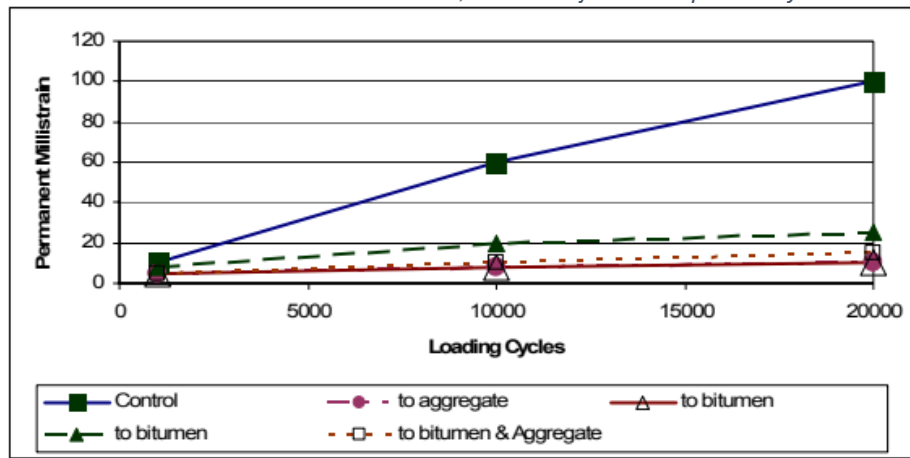
Estudios de investigación realizados en la década de 1990 evaluó el impacto de la cal en las mejoras que se obtuvo en altas temperaturas (resistencia a la formación de surcos), resistencia a la fatiga, fisuración y baja temperaturas. (Lesueur (1998)).

Estos estudios concluyeron que:

1. La cal hidratada no es simplemente un relleno inerte, pero que si reacciona con el betún. Las partículas de cal en realidad absorben los componentes polares del betún. Esta capa intercalada adsorbida hace que la cal hidratada sea muy aditiva y efectiva, el nivel de reacción betún-cal se encontró que puede ser dependiente del betún
2. El efecto de relleno "activo" tiene una sensibilidad graduada a la temperatura. A altas temperaturas, el efecto del relleno es más pronunciado; es considerablemente menor a las temperaturas cerca de la transición de vidrio del betún. Este tiene características muy positivas que permite que el betún resista el daño de flujo a alta temperaturas y aun así relajarse en bajas temperaturas, disipando energía por flujo en lugar de fracturarse

3. Una interacción fisicoquímica entre la cal hidratada y el betón puede ser verificado por (a) modelos reológicos, (b) nucleares resonancias magnéticas, y (c) microscopía electrónica de barrido.
4. La interacción fisicoquímica es un mecanismo fundamental que proporciona una base para explicar los efectos multifuncionales de la cal en betón. Estos efectos incluyen: (a) resistencia mejorada a la rodera (ilustración 1), (b) mejoría a baja temperatura resistencia a la fractura (ilustración 2), y (c) mejoría de la fatiga por fractura resistencia (ilustración 3).

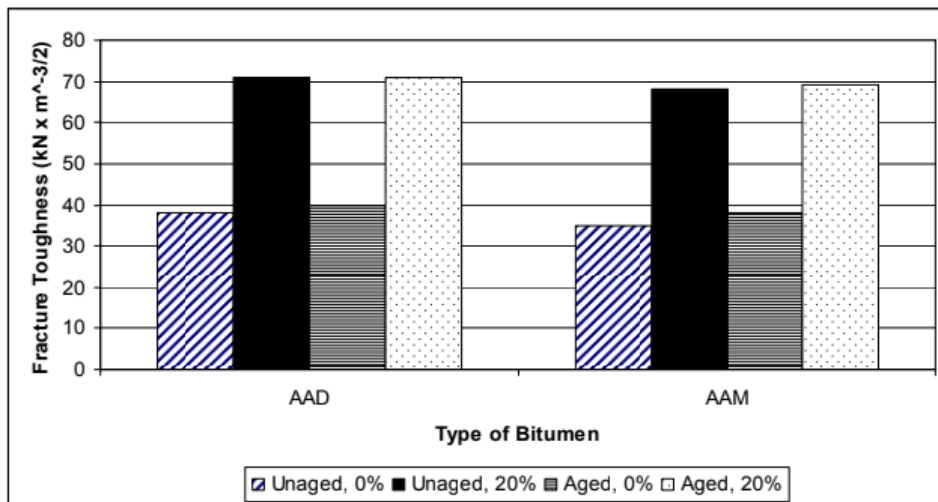
Ilustración 1 .Cal agregada a la mezcla caliente en varios modos (al agregado o al betón) afecta fuertemente a la resistencia a la corrosión de la mezcla, incluso bajo alta temperatura y humedad



Fuente: Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

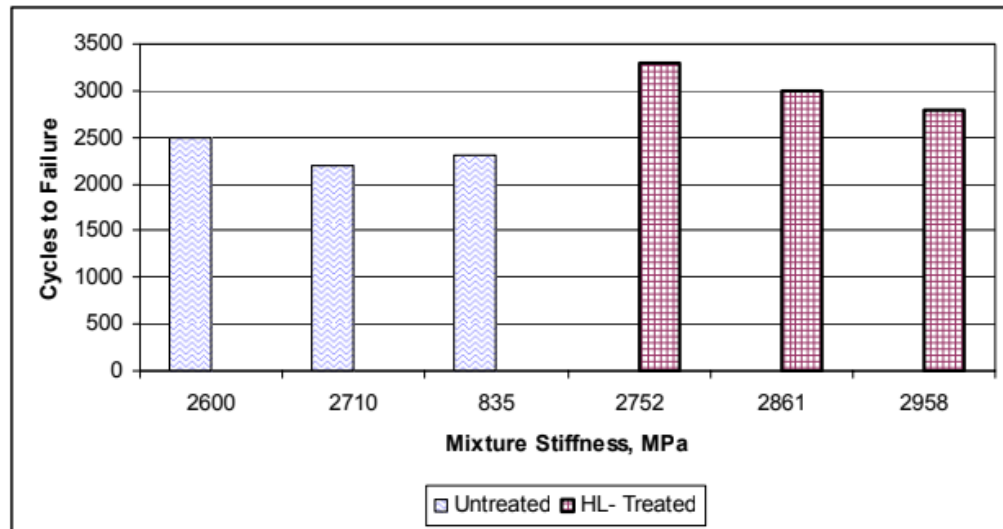
Fuente: Autores

Ilustración 2 La cal hidratada mejora resistencia a baja temperatura de la cal modificada Betón



Fuente: Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

Ilustración 3 La cal hidratada añadida al betón mejora la dureza del Betón y mejora la fatiga de la vida cuando se compara con la mezcla idéntica sin cal



Fuente: Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

INVESTIGACIÓN EUROPEA

Investigación francesa

Los investigadores franceses reconocen los efectos de cal hidratada en HMA (Hot Mix Asphalt) presentan una mejora en la rigidez, así como el agregado de asfalto enlace. La compañía Jean Lefevre-Metz y el Laboratorio Central des Ponts et Chaussées (LCPC) en Saint Quentin, verifica que la cal hidratada hace al asfalto más estable (The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt – CiteSeerX (Mauget (1998)) .

Investigación Alemana

La efectividad práctica de la cal hidratada en HMA (Mezclas asfálticas en caliente) para mejorar la humedad la sensibilidad y la rigidez se aceptan en Alemania. Investigación de campo en dos carreteras secciones (L 280 cerca de Grevenbroich y B 7N cerca de Wuppertal-Dornap) confirma que la adición de **1.0 a 1.5** por ciento cal hidratadas en peso de la mezcla puede mejorar sustancialmente la resistencia a la rodera . (Radenberg ,1998)

Investigación Belga

El Centro de Recherches Routières (CRR) en Bélgica ha verificado que la cal crea una mejora significativa en adhesión entre aglutinantes y agregados .CRR también identifica una mejora en la resistencia a los efectos de endurecimiento oxidativo (Radenberg ,1998)

Investigación checa

El Instituto para la construcción de carreteras en Praga se estudió la influencia de la cal hidratada en HMA (Mezclas asfálticas en caliente) y se construyó varias pruebas secciones de pavimento para determinar el largo comportamiento a largo plazo de la cal hidratada en HMA Mezclas asfálticas en caliente) (Luxenburk ,1998). Alrededor del 18.5 por ciento cal hidratadas en peso del aglutinante añadido a las mezclas y probado con el Nottingham Probador de asfalto y por celo pruebas. Los resultados muestran claramente que la cal hidratada mejora la estabilidad y aumenta la resistencia al celo debido al efecto de relleno, especialmente a elevada temperaturas de entre 30° C y 40° C.

Investigación holandesa

Los Países Bajos estipulan el uso de cal hidratada en un asfalto poroso se mezcla en gran medida para evitar la sedimentación en estos altos contenidos de carpeta de asfalto mezclas. En un programa de investigación en el Universidad Técnica de Delft, stripping y Marshall pruebas de estabilidad se realizaron en diferentes tipos de betunes y agregados con diversos contenidos de cal hidratada (Hopman, 1996). Todos especímenes que contienen espectáculo de cal hidratada mejoran la estabilidad.

Los mejores resultados se obtuvieron en mezclas donde fracción de relleno mineral (generalmente siete porcentajes en peso de la mezcla) contiene **10 a 15 por ciento** (de la fracción de relleno) cal hidratada. En los Países Bajos, la cal hidratada se agrega típicamente a la mezcla caliente como un componente de una fracción de relleno mineral. Después de mezclar, no todas las cantidades de cal hidratada están en contacto "directo" con la superficie del agregado, pero algunos se convierten en parte de la carpeta misma. A asegurar el desarrollo de la necesaria fuerza de unión entre la carpeta de asfalto y el agregado, rellenos con una mayor porción de cal hidratada (aproximadamente **25 por ciento** en peso) se usan asfaltos porosos (Para el proceso tradicional denso-clasificado mezclas, la porción de cal hidratada del relleno es de aproximadamente **10 por ciento**.) Los investigadores holandeses creen que la mejora enlace entre el asfalto y el agregado es la principal causa de mejora actuación.

Algunas de las investigaciones más poderosas en los últimos años para demostrar una interacción de la cal-betún fue realizada por Hopman., (1998). Los resultados son similares a los reportados por Lesueur, Little y Epps (1998). Hopman, Utilizaron luz donde las medidas de absorción y gel cromatografía de permeación (GPC). Ambos métodos muestran un cambio significativo en composición genérica del betún después la adición de cal hidratada, lo que indica que la cal es un relleno "activo"

Investigación española

Investigadores en España y Argentina recientemente comparó el impacto de cal hidratada sobre las características de envejecimiento de ligantes y mezclas de asfalto (Recasens et Alabama. (2005)). El proceso de envejecimiento consistió en colocar la muestra compacta de HMA (Mezclas asfálticas en caliente) en el horno a 80 ° C durante 0, 2, 4 y 7 días. La carpeta de asfalto se extrajo de la Mezcla de HMA después de 2 y 7 días de envejecimiento en horno y probado para la penetración, absoluta y Viscosidades cinemáticas y punto de reblandecimiento.

La Tabla 14 resume las propiedades de carpeta envejecida recuperada que muestra que la cal hidratada reduce significativamente la tasa de envejecimiento del aglutinante de asfalto. El estudio también evaluó el impacto de cal hidratada y carbonato de calcio en la tasa de envejecimiento de las mezclas de HMA. Los impactos del envejecimiento sobre la fragilidad de la la mezcla de HMA fue evaluada a través de una prueba de tensión en una muestra Marshall con muescas a 20 o C.

La energía específica de la fractura se obtuvo como el área bajo la carga curva de desplazamiento dividida por el área de la fractura de la muestra. Una mayor energía específica de fractura indica una más frágil mezcla de HMA (Mezclas asfálticas en caliente) con una menor resistencia al agrietamiento. Los datos mostraron que después de 7 días de envejecimiento en horno, el HMA mezclar con cal hidratada tenía un específico energía de fractura que es 10 y 30 por ciento más bajo que la mezcla no rellena y la mezcla con carbonato de calcio, respectivamente. La combinación de menor propiedades de ligante y menor específico la energía de la fractura con el tiempo indica las características protectoras de la cal hidratada contra el envejecimiento que asegura una mejor larga durabilidad de termino de la mezcla HMA.

INVESTIGACIÓN COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DRENANTES

“Una estrategia para el manejo de agua de escorrentía en vías es el uso de mezclas asfálticas drenantes o porosas con asfaltos modificados. Este tipo de mezclas han sido ampliamente usadas e investigadas en países como España, Estados Unidos, Francia y Argentina. En Colombia este tipo de mezclas han sido poco estudiados y por lo tanto su aplicación ha sido muy limitada. Tradicionalmente en nuestro país, las carpetas asfálticas densas son las más comunes en las estructuras de pavimentos, así como la utilización de asfaltos convencionales.

Los pavimentos porosos han sido usados para reducir el área impermeable en zonas urbanas. La capacidad de infiltración y de almacenamiento de estos sistemas contribuyen al control hidrológico y ambiental de las aguas lluvias. La mezcla asfáltica drenante hace parte de la estructura del sistema de pavimento poroso y tiene como característica una conductividad hidráulica mayor en comparación a las mezclas tradicionales, permitiendo que se filtren las aguas de escorrentía urbana

que luego serán evacuadas a un sistema natural. En nuestro país, los sistemas de pavimento asfáltico poroso no son usados masivamente como mecanismo para el control de la escorrentía urbana

La falta de experiencia con el uso de mezclas asfálticas drenantes, asociadas a la caracterización de los materiales que la conforman, las particulares constructivas, los escasos tramos de prueba y los vacíos generados en las técnicas y en las normativas de aplicación requiere que se evalúe la aplicabilidad de este tipo de material en condiciones locales.

Con el fin de evaluar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas drenantes se propone realizar ensayos convencionales tales como: estabilidad, flujo o deformabilidad, tracción indirecta, cántabro, conductividad hidráulica, escurrimiento y módulo dinámico, para establecer la viabilidad de su uso en vías rurales y urbanas en Colombia” (Carol Patricia López Moreno,2018)

2.2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, el estado de las vías presenta deficiencias, algunos medios de comunicación importantes del país presentan en noticias las consecuencias de no tener una red vial competente que abastezca las diferentes necesidades, algunos fragmentos de dichas noticias son:

“Mal estado de las vías en Colombia, generan el 35% de sobre costos a transportadores, según el informe de 2013 del Consejo Privado de Competitividad, el mal estado de la malla vial provoca demoras en los tiempos de entrega a los puertos generando sobre costos”. (Colprensa, septiembre 2018).

La movilización de carga en Colombia se da en el 80% por las carreteras del país, la red vial es limitada y de poca capacidad, los costos de transporte son altos y afectan la competitividad de los bienes transportados. (Gerson Javier Pérez Septiembre 2019).

El deterioro de las vías y los pavimentos, se conocen como patologías, según el estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras realizado por el convenio interadministrativo entre la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y el Instituto Nacional de Vías INVIAS en el año 2006, se definen los tipos de daños que se presentan en las estructuras de pavimento flexible, y, que se pueden clasificar en cuatro categorías, la cuales son:

1. fisuras (transversales, longitudinales, en juntas de construcción, por reflexión de juntas, en medialuna, de borde, en bloque, piel de cocodrilos, por deslizamiento de capas, e, incipientes)

2. deformaciones (ondulación, abultamiento, hundimiento y ahuellamiento)
3. pérdida de las capas de la estructura (descascamiento, baches y parches)
4. daños superficiales (desgaste superficial, pérdida de agregado, pulimiento del agregado, cabezas duras, exudación y surcos)
5. otros daños (corrimiento vertical de la berma, separación de la berma, afloramiento de finos, afloramiento de agua) (INVIAS, octubre 2006).

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Un pavimento es una estructura vial multicapa, constituida por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales y conformadas por materiales debidamente seleccionados, el cual debe soportar cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales. De tal manera que ofrezca un paso seguro y confortable al parque automotor que se imponga sobre su superficie

Además de brindar seguridad bajo unas buenas condiciones de drenaje, reducción de la lámina de agua, y, una satisfactoria señalización, esta estructura deberá proporcionar comodidad y siempre favorecer en tiempos de desplazamiento a los usuarios que la utilicen.

De las capas que componen la estructura del pavimento, la capa de rodadura es la que está expuesta directamente a las condiciones climáticas y a las cargas impuestas por el tránsito, por tales razones es la que tiende a sufrir los primeros daños de la estructura y por ende es más seguida su reparación.

Para este proyecto de grado se analizará una muestra control sometida a diferentes ensayos de la caracterización mecánica de mezclas asfálticas, la cual se modificará con diferentes adiciones y sustituciones con cal hidratada, para determinar la viabilidad en las mezclas modificadas y así poder implementarlas en futuros diseños de mezcla asfáltica en caliente drenantes. Con lo anterior se identifica el planteamiento del problema a analizar, ya que se está implementando una metodología de investigación con cal hidratada en mezclas asfálticas. Por tal razón, se hace necesario realizar un comparativo del material granular y la cal hidratada que se implementara en la investigación. De esta manera se busca determinar cómo trabaja bien la cal hidratada y se busca responder ¿Cuál es el mejor desempeño de la cal hidratada dentro de la mezcla asfáltica en caliente drenante?

Ahora bien, lo expuesto anteriormente es el principal planteamiento del problema, y con base en este se quiere obtener los resultados en cada ensayo realizado en laboratorio. Pero, para el desarrollo de la pregunta de investigación planteada, se

hace necesario tener los insumos acordes a las condiciones reales. De lo cual se debe obtener el material drenante (granulometría), la cal hidratada y el diseño de mezcla base para la muestra de control. Entonces con las condiciones iniciales listas, se procede a realizar los cálculos correspondientes para la fabricación de los cuerpos de prueba.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO

Definición mezcla asfáltica drenante

La mezcla asfáltica drenante puede ser utilizada en la estructura de pavimento como capa de rodadura y tiene como características:

- Materiales pétreos de diferentes tamaños no susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración fisicoquímica. La mezcla asfáltica drenante dependerá de la granulometría de diseño.
- Ligante asfáltico modificado, con el fin de mejorar la consistencia e incrementar la cohesión y evitar problemas de escurrimiento.
- Alto contenido de vacíos interconectados entre sí. Se consideran mezclas drenantes cuando el contenido de vacíos está entre el 16% a 25%, característica que dependerá de su uso y de la calidad de los agregados usados.

Ilustración 4 Concreto poroso permite que a agua pase por los poros del agregado



Fuente: INTERPAVE-permeable pavements, diciembre del 2008

Ventajas mezclas drenantes

Algunas de las ventajas generales de las mezclas asfálticas drenantes son:

- Reducción del caudal máximos de esorrentía
- Incremento del tiempo de conducción de dicho caudal máximo.
- Incrementa la adherencia estructura pavimento - neumático.
- Disminuye los ruidos asociados al paso de los vehículos.

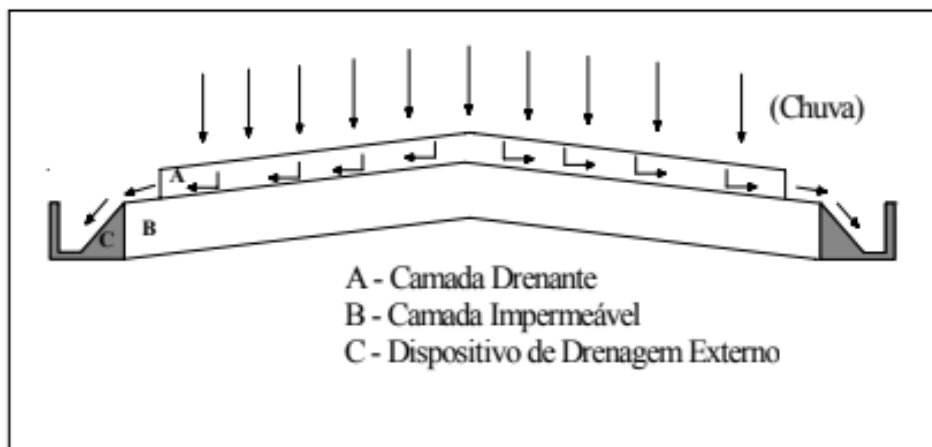
- Permiten la remoción de elementos contaminantes del agua, al filtrarlos a través de las capas inferiores y la reutilización del agua.

Ilustración 5 Asfalto típico drenante Diseño y características



Fuente: Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

Ilustración 6 esquema de funcionamiento de asfalto drenante



Fuente: Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

La ilustración 6 “presenta de forma ilustrativa el principio de funcionamiento de los suelos drenantes utilizados en las ciudades. En las carreteras, el dispositivo de drenaje es generalmente sustituido por el acoso” (INVIAS 2013, septiembre 2018)

4.2. MARCO CONCEPTUAL

Las mezclas drenantes “son mezclas bituminosas utilizadas en capas de rodadura, que se dosifican con el objetivo principal de conseguir un gran número de vacíos interconectados entre sí (18 a 25%) que permitan el drenaje del agua superficial y su evacuación hacia las zonas laterales fuera de la calzada, como solución a los problemas de seguridad vial que se generan en los pavimentos mojados.” (INVIAS 2013, septiembre 2018)

Eliminación del hidroplaneo: “la capa de rodadura drenante o porosa absorbe y elimina el agua de la superficie del pavimento conduciéndola hacia las zonas laterales. De esta manera se consigue eliminar el problema de hidroplaneo” (INVIAS 2013, septiembre 2018)

Reducción del ruido del tráfico: “este tipo de pavimento ofrece una rodadura silenciosa. En los pavimentos densos un aumento de macro textura supone un aumento del nivel sonoro, mientras que en las mezclas drenantes, a igual textura, son más silenciosos e incluso absorben el ruido del motor. La reducción de ruido producida por una capa de rodadura 3 drenante respecto a una capa densa del mismo espesor, depende del espesor y del porcentaje de vacíos” (INVIAS 2013, septiembre 2018)

Adherencia: Debido a la menor superficie real de contacto que se establece entre el neumático y la superficie porosa y a que en su puesta en servicio los agregados están cubiertos por una gruesa capa de ligante asfáltico, lo que genera una superficie de ruedo con una textura lisa, ha surgido la inquietud de la adherencia entre el neumático y el pavimento en tiempo seco. Sin embargo, la película de ligante asfáltico que recubre los agregados desaparece en los primeros 3 a 6 meses, y entonces se incrementa la desaceleración de frenado. (INVIAS 2013, septiembre 2018)

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Determinar la influencia que puede llegar a tener el Hidróxido de calcio o cal hidratada sobre un diseño de mezcla asfáltica drenante, por medio de sustitución sobre las fracciones granulométricas

5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los materiales con los cuales se trabajará en el diseño de las mezclas asfálticas en caliente drenantes de acuerdo con el Artículo 453 del Invias, (agregados, cal y cemento asfáltico).
- Determinar el volumen de vacíos con aire que presenta la mezcla compactada de acuerdo con la metodología V_a de la muestra de control y los modificados.
- Determinar las pérdidas por desgaste a (25°C) de acuerdo con el procedimiento de la norma de ensayo INV E-760 de la muestra de control y los modificados.
- Determinar la resistencia a Tracción Indirecta en estado seco de acuerdo con la norma INV E-725 de la muestra de control y los modificados.
- Determinar la resistencia a Tracción Indirecta en estado húmedo de acuerdo con la norma INV E-725 de la muestra de control y los modificados.
- Determinar el comportamiento de la cal en las muestras modificadas respecto a las muestras de control, de acuerdo con los diferentes ensayos propuestos.

6. ALCANCE Y LIMITACIONES

Este proyecto se deberá llevar a cabo en un tiempo de seis meses contados a partir de septiembre de 2018, dentro de este proceso se tiene que verificar todos los datos con respecto a los laboratorios, revisarlos, ajustarlos y concluir lo encontrado. Los recursos para este proyecto serán suministrados por la universidad católica de Colombia, en caso de no estar en existencia los recursos serán comprados por los estudiantes asignados a esta investigación.

Una de las limitaciones sería la ausencia de recursos, aunque se sepa lo que se va a utilizar; el laboratorio puede tener escases de algún producto o de alguna máquina que por ende nos retrasaría nuestro cronograma. Adicional a esto la falta de precisión o la mala toma de datos nos afectaría gravemente el proyecto, por esto se necesitará un experto en el uso de estas como lo es el laboratorista de la universidad católica.

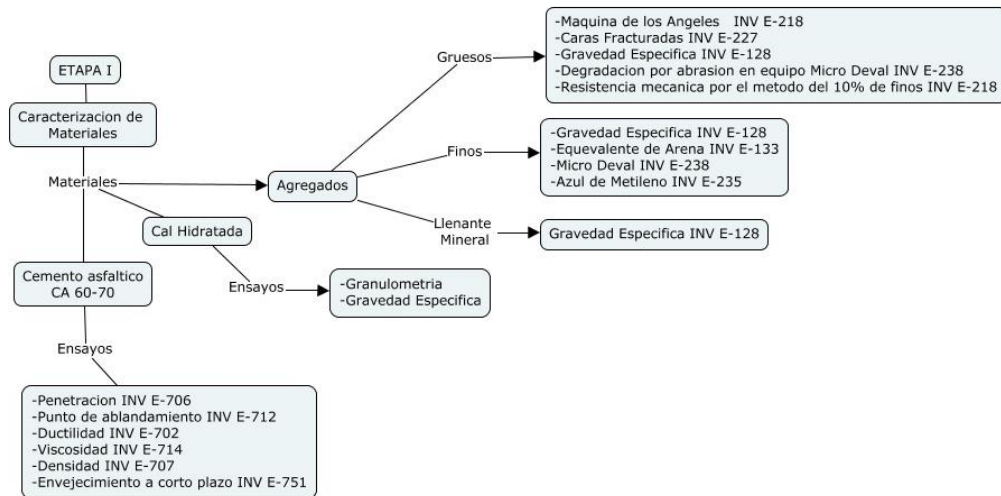
La mezcla asfáltica drenante, presenta dificultades en particular en el proceso constructivo y limitaciones en las actividades de mantenimiento. El seguimiento de algunas obras con estos materiales, han evidenciado que las mezclas drenantes fallan en su mayoría por disgregación, como consecuencia de la falta de cohesión de la mezcla para poder resistir adecuadamente a los esfuerzos de succión y tangenciales generados por el tráfico, en algunos casos, por la mala calidad del ligante asfáltico utilizado o por la porosidad del medio. Por lo anterior en España se han diseñado este tipo de mezclas en función de su porosidad y resistencia al desgaste evaluada por el ensayo del Cántabro, el cual permite medir la adherencia ligante-agregado y el comportamiento de la misma en presencia de agua. Este mismo ensayo se ha adoptado por los países que en la actualidad utilizan las mezclas asfálticas drenantes.

Para obtener una mezcla estable se ha integrado los asfaltos modificados logrando suplir los problemas de adhesión y desintegración, en tanto la manipulación de la mezcla estará en función de las temperaturas de mezclado y compactado siendo temperaturas mayores que las utilizadas en las mezclas convencionales, factor que influye en un envejecimiento prematuro si no se tiene los controles respectivos. Al respecto la experiencia belga demostró que se puede prolongar la vida útil de la mezcla mejorando las propiedades del ligante asfáltico. (Miro Rodrigo 2006), mientras que la experiencia francesa indica que la duración de las capas asfálticas drenantes está entre los 8-12 años. En la vida útil es necesario realizar actividades de mantenimiento que eviten la colmatación de los vacíos generados por sedimentos u otros materiales que se puedan acumular utilizando aspiradoras tipo industrial.

7. METODOLOGÍA

En la primera etapa se realiza la caracterización física de los materiales, los cuales son: agregados, llenante mineral y cemento asfáltico

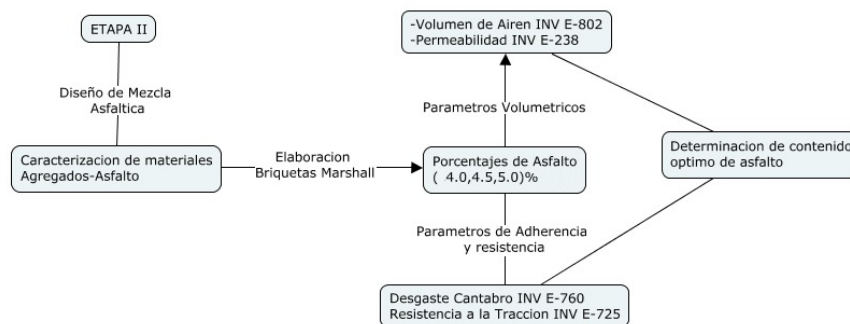
grafica 1 Metodología -Etapa 1



Fuente: Autores

En la segunda etapa se procede a realizar el diseño de la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta que el material caracterizado en la primera etapa cumple con los requisitos que exigen las diferentes normas del Invia, se procede a determinar el contenido óptimo de asfalto para realizar las briquetas, que correspondería a la etapa tres. Para el diseño de las mezclas asfálticas modificadas de esta investigación se optó por trabajar con el porcentaje mínimo de asfalto que permite el artículo 453 de Invia para la elaboración de mezclas asfálticas drenantes, el cual es 4.5%

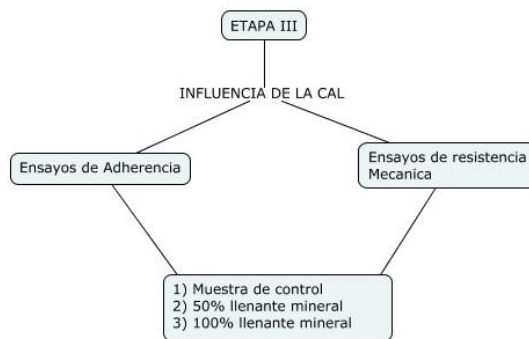
grafica 2 Metodología -Etapa 2



Fuente: Autores

Finalmente la etapa tres consiste en la elaboración de briquetas, definido el porcentaje de asfalto se procede a preparar los agragados y demás materiales para mezcla y compactación en las temperaturas adecuadas. Con los diseños de briquetas de muestra de control y modificados, se procede a realizar los diferentes ensayos propuestos para determinar la influencia de la cal hidratada en las mezclas asfálticas drenantes.

grafica 3 Metodología -Etapa 3



Fuente: Autores

8. DISEÑO METODOLOGICO

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA DRENANTE CON INFLUENCIA DE LA CAL HIDRATADA

8.1 ETAPA 1

CARACTERIZACION DE MATERIALES:

Para todos los procesos realizados durante la investigación se llevo a cabo un registro fotográfico donde se puede evidenciar los paso a paso de cada uno de los ensayos, de la misma manera en las imágenes se muestra los procesos que se hacen para la elaboración de las briquetas, ya sea reemplazando el 100% de filler ,50 % de filler.

CEMENTO ASFALTICO CA 60-70

El cemento asfaltico se emplea para esta investigación ya que este tiene como uso principal la construcción y conservación de carreteras, de igual forma se dispone de un asesoramiento donde expone que el uso de este asfalto en Colombia es cotidiano y que a su vez es uno de los asfaltos con el que más información se cuenta a nivel comercial.

El cemento asfaltico 60-70 es el comúnmente usado para temas pedagógicos en la Universidad Católica de Colombia.

TECNISUELOS es el lugar donde se realiza la compra del cemento asfaltico. Este laboratorio de igual manera suministra la caracterización y especificaciones de este material.

Ilustración 7 Especificaciones de mezcla asfáltica 60-70

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA	MIN	MAX
Penetración (25°C, 100gr, 5s)	0.1mm	E-706	60	70
Punto de ablandamiento	°C	E-712	48	54
Índice de penetración	-	E-724	-1.2	+0.6
Viscosidad Absoluta a 60°C	P	E-716	1500	---
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	--
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	--
Contenido de agua	%	E-704	--	0.2
Punto inflamación (Cleveland)	°C	E-709	240	--
Contenido de parafinas	%	E-718	--	3
ASFALTO RESIDUAL POST-RTFOT (E-720)				
Pérdida de masa por calentamiento	%	E-720	--	0.8
Penetración del residuo, en % de penetración asfalto original	%	E-706	50	--
Incremento del punto de ablandamiento	°C	E-712	--	9
Índice envejecimiento: relación viscosidad (60°C) asfaltos residual y original.	--	E-716	--	4

Fuente: Caltek.

Los ensayos característicos del cemento asfaltico son:

CEMENTO ASFALTICO CA 60-70

Ensayos

- penetración INV E-706
- Punto de ablandamiento INV E-712
- Ductilidad INV E-702
- Viscosidad INV E-714
- Densidad INV E-707
- Envejecimiento a corto plazo INV E-751

- **CAL HIDRATADA**

La cal utilizada es un hidróxido de calcio de alta pureza, es comúnmente utilizada en procesos de sectores como: industria farmacéutica, química, alimenticia, petrolera, tratamiento de aguas y refinación.

Ilustración 8 Hidróxido de calcio de alta pureza



Fuente: Autores

El fabricante aporta datos técnicos mediante ficha técnica:

Ilustración 9 Ficha técnica Cal 90 (hidróxido de calcio) aportada por fabricante.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (ASTM C-25/NTC 5059)		
Hidróxido de Calcio	Ca(OH) ₂	90% mín.
Óxido de Magnesio	MgO	1,0% máx.
Silice	SiO ₂	1,0% máx.
Óxido de Hierro + Aluminio	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	0,5% máx.
Insolubles	HCl	1,5% máx.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (ASTM C-25/NTC 5059)		
Humedad	H ₂ O	1,0,% máx.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (ASTM C-110/NTC 5233)		
Granulometría (% que pasa)	Malla 200	90,0% mín.
Granulometría (% que pasa)	Malla 325	85,0% mín.

Esta es una ficha de especificaciones típicas promedio de cada material. Sin embargo, dado que son materias primas provenientes de depósitos naturales, dichas propiedades pueden variar. Los datos indicados en esta ficha técnica son valores de referencia provenientes de las pruebas realizadas en nuestros laboratorios, de acuerdo a métodos estándares. Este documento no constituye un certificado de calidad y carece de valor contractual. Para aspectos relacionados con precauciones, instrucciones de almacenamiento y elementos de seguridad, remitirse la hoja de seguridad del producto.

Fuente: Caltek

- **AGREGADOS (GRUESO-FINOS)**

La obtención de estos agregados (agregado-grueso, agregado-fino) se hace por medio de TECNISUELOS. Este laboratorio suministra toda la caracterización del material.

Se realiza el correspondiente tamizado, y así obtener la granulometría de diseño para la mezcla asfáltica drenante como lo especifica el artículo 453 del INVIAS (capítulo 4-PAVIMENTOS ASFALTICOS). *Tabla 453 - 4. Franja granulométrica para mezcla drenante*

Para los agregados finos se especifica que el material debe proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o grava natural.

Para la investigación que se realizó el material provino de CRONCRESCOL DE COLOMBIA, tomado allí del Rio Coello.

El alistamiento del material se hace según el diámetro de la partícula, esto posterior a haber realizado un tamizado. De esta manera se garantiza que al momento de hacer el mezclado de cantidades según el tamiz sea exacto y así cumplir con el peso de la briqueta que será 1100g.

AGREGADOS GRUESOS

Ensayos

- Máquina de los Ángeles INV E-218
- Caras Fracturadas INV E-227
- Gravedad Específica INV E-128
- Degradación por abrasión en equipo micro Deval INV E-238
- Resistencia mecánica por el método del 10% de finos INV E-218

Ilustración 10 Alistamiento de material



Fuente: Autores

Ilustración 11 Material debidamente tamizado



Fuente: Autores

Tabla 1 Densidades de agregados (grueso-medio-fino).

	Agregado grueso (Tamiz 3/4-3/8)	Agregado medio (Tamiz 4-40)	Agregado fino (Tamiz 200)
DENSIDADES g/cm³	2.64	2.64	2.52

Fuente: Autores

Para agregado fino se realiza ensayos de:

- ✓ Gravedad específica (INV E-128): Esta norma busca determinar la gravedad específica de toda partícula que pasa por tamiz 4,75mm (N°4) y la llenante mineral de las mezclas asfálticas (filler).

Ilustración 12 Valor óptimo para ensayo de gravedad específica INV-E-128



Fuente: Autores

Ilustración 13 Vertimiento de suelo al picnometro



Fuente: Autores

Ilustración 14 Agitación manual



Fuente: Autores

Ilustración 15 Agitación Mecánica



Fuente: Autores

- ✓ Equivalente de arena (INV E-133): Este ensayo busca determinar las cantidades de polvo y material arcilloso que presenta el material bajo condiciones normalizadas, este ensayo se hace para el agregado fino de tamaño inferior a 4,75mm.

Ilustración 16 Agregado que pasa tamiz (3/8 y No 4)



Fuente: Autores

Ilustración 17 Preparación de ensayo



Fuente: Autores

Ilustración 16 Reducción de mezcla según INV E-202



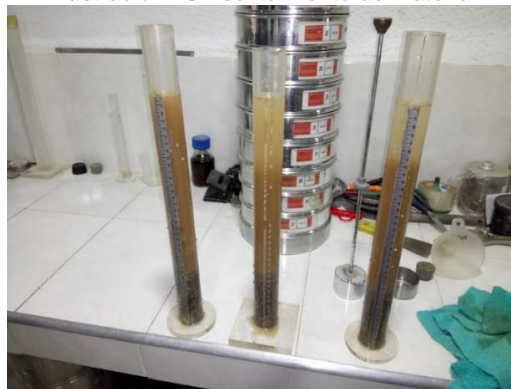
Fuente: Autores

Ilustración 17 Obtención de material pasa tamiz N° 4



Fuente: Autores

Ilustración 18 Asentamiento de material



Fuente: Autores

8.2 ETAPA 2

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA:

Bajo la norma **ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL (INV E-748-13)** se realiza la fabricación de probetas cilíndricas compuestas de mezcla asfáltica.

Para el caso investigativo que llevamos se realizaron veinte siete (27) briquetas que se distribuyeron de la siguiente manera:

- 9 briquetas como muestras de control con un contenido de asfalto del 4,5%, teniendo en cuenta que este porcentaje es el mínimo estipulado en el artículo 453 (MEZCLA DRENANTE).
- 9 briquetas con sustitución total (100%) por cal hidratada en los agregados finos (filler).
- 9 briquetas con sustitución del 50% por cal hidratada en los agregados finos (filler).

Para la identificación de estas briquetas se determinó que se iba a realizar un marcado con el numero (1,2 o 3) acompañando de una letra (a.b.c.d.e.f.g.h.i.) dependiendo de las sustituciones o la no sustitución por llenante mineral, y así posteriormente sería más fácil su reconocimiento al finalizar el fallado de estas.

Esta marcación se hace con el fin de tener un registro exacto sobre cada una de las briquetas y así poder tener fácil identificación después de haberlas fallado, lo anterior se contempla ya que los datos para cada briketa serán diferentes (peso sumergido, peso con vinipel , peso seco etc.).

DONDE:

- Briquetas con sustitución (100% de llenante mineral): Estarán marcadas con el numero 1 acompañado de una letra.
- Briquetas con sustitución (50% de llenante mineral): Estarán marcadas con el numero 2 acompañado de una letra.
- Briquetas de control (0% de llenante mineral): Estarán marcadas con el numero 3 acompañado de una letra.
- ✓ Nueve (9) briquetas donde no se sustituye por llenante mineral (CAL HIDRATADA) en ningún agregado y que llamaremos muestras de control, la distribución del material según la granulometría se realizó de la siguiente manera:

Tabla 2 valores para Muestras de control

		% AGREGADO	CANTIDAD. gr
TAMIZ	ASFALTO	4,50%	45
	# 3/4	0%	0
	# 1/2	15%	143,25
	# 3/8	20,50%	195,775
	# 4	41%	391,55
	# 10	9%	85,95
	# 40	6%	57,3
	# 200	3,50%	33,425
	Filler	5%	47,75
TOTAL			1000

Fuente: Autores

La Tabla 2 muestra la distribución que se realiza según el tamiz y su porcentaje, este porcentaje se expresará en gramos, y así llegar al gramaje ideal de cada briqueta (1000g), en este caso será la briqueta o muestras de control.

Ilustración 19 Agregado Sin filler ni Asfalto



Fuente: Autores

Ilustración 20 Adición de asfalto a mezcla de control



Fuente: Autores

Ilustración 21 Mezcla entre asfalto y agregados



Fuente: Autores

Ilustración 22 Adición de mezcla asfáltica a probeta



Fuente: Autores

Ilustración 23 Compactación de mezcla asfáltica



Fuente: Autores

Ilustración 24 resultado para nueve briquetas sin sustitución de filler No 1+letra.



Fuente: Autores

- ✓ Nueve (9) briquetas donde se sustituye el 100% del agregado fino (filler) por llenante natural, la distribución del material según la granulometría se realizó de la siguiente manera:

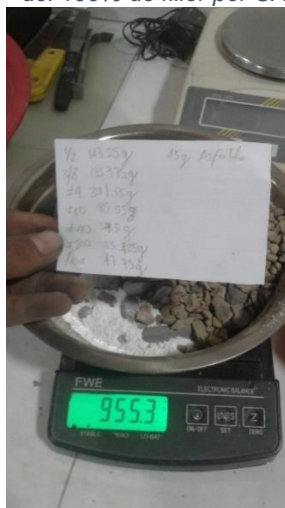
Tabla 3 Valores para sustitución del 100% de filler por llenante mineral (CAL).

		% AGREGADO	CANTIDAD. (g)
TAMIZ	ASFALTO	4,50%	45
	# 3/4	0%	0
	# 1/2	14,325%	143,25
	# 3/8	19,5775%	195,775
	# 4	39,155%	391,55
	# 10	8,595%	85,95
	# 40	5,73%	57,3
	# 200	3,3425%	33,425
	Llenante mineral	4,775%	47,75
	TOTAL		1000

Fuente: Autores

La Tabla 3 muestra la distribución que se realiza según el tamiz y su porcentaje, este porcentaje se expresará en gramos, y así llegar al gramaje ideal de cada briqueta (1000g), en este caso será la briqueta o muestras con sustitución del 100% en filler.

Ilustración 25 Agregado con sustitución del 100% de filler por CAL



Fuente: Autores

Ilustración 26 Mezcla en Caliente



Fuente: Autores

Ilustración 27 Temperatura ideal antes de compactación



Fuente: Autores

Ilustración 28 adición de mezcla asfáltica a probeta



Fuente: Autores

Ilustración 29 Golpes con palustre caliente



Fuente: Autores

Ilustración 30 Resultado para nueve briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL



Fuente: Autores

- ✓ Nueve (9) briquetas donde únicamente se sustituye el 50% del agregado fino (filler) por llenante mineral, la distribución del material según la granulometría se realizó de la siguiente manera:

Tabla 4 Valores para sustitución del 50 % de filler por llenante mineral (CAL).

		% AGREGADO	CANTIDAD. Gr
TAMIZ	ASFALTO	4,50%	45
	# 3/4	0%	0
	# 1/2	14,325%	143,25
	# 3/8	19,5775%	195,775
	# 4	39,155%	391,55
	# 10	8,595%	85,95
	# 40	5,73%	57,3
	# 200	3,3425%	33,425
	Llenante mineral	2,3875%	23,87
	Filler	2,3875%	23,87
TOTAL			1000

Fuente: Autores

La Tabla 4 muestra la distribución que se realiza según el tamiz y su porcentaje, este porcentaje se expresará en gramos, y así llegar al gramaje ideal de cada briqueta (1000g), en este caso será la briqueta o muestras con sustitución del 50% de filler.

Ilustración 31 Distribución de agregados más CAL.



Fuente: Autores

Ilustración 32 Mezcla entre asfalto, CAL y



Fuente: Autores

*Ilustración 33 Temperatura con termómetro digital
briquetas*



Fuente: Autores

*Ilustración 34 Compactación de
briquetas*



Fuente: Autores

Ilustración 35 Probeta con sustitución del 50% de filler por CAL



Fuente: Autores

*Ilustración 36 Resultado para nueve
briquetas con sustitución del 50% de
filler por CAL*



Fuente: Autores

Finalizado el diseño de la mezcla asfáltica se obtiene en total 27 briquetas las cuales se representan en la siguiente imagen.

Ilustración 37 27 Briquetas con diferente tipo de sustitución



Fuente: Autores

9. ANALISIS Y RESULTADOS

Terminada la elaboración de las briquetas, se procede a tomar datos de masas, diámetro y altura para la determinación de vacíos en los diseños propuestos.

- Mezcla Asfáltica Drenante con sustitución del 100% del filler por cal hidratada

Ilustración 38 Peso de briqueta con vinipel.



Fuente: Autores

Ilustración 39 Peso de briqueta 3C con vinipel



Fuente: Autores

Tabla 5 Pesos, Alturas y diámetros de briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL.

BRIQUETA	TIPO DISEÑO	PESO SECO (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO SUMERGIDO CON VINIPEL (g)	PESO CON VINIPEL (g)	DIAMETRO 1 (cm)	DIAMETRO 2 (cm)	ALTURA 1 (cm)	ALTURA 2 (cm)	ALTURA 3 (cm)	ALTURA 4 (cm)
1A	SUSTITUCIÓN 100%	1009,3	557,8	466,2	1010,8	10,2	10,1	6,6	6,6	6,75	6,6
1B		990,3	540,6	463,6	992,1	10,1	10,2	6,45	6,35	6,4	6,4
1C		1003,7	554,4	463,2	1006,4	10,2	10,2	6,65	6,6	6,65	6,65
1D		1007,1	556,2	465,6	1010,2	10,2	10,2	6,7	6,7	6,7	6,75
1E	FILLER POR CAL HIDRATADA	1003,7	550,5	485,6	1007,8	10,2	10,2	6,25	6,3	6,2	6,3
1F		997	544	462,7	1001,2	10,2	10,2	6,4	6,3	6,35	6,3
1G		993,1	538,2	456,5	996,4	10,1	10,2	6,3	6,35	6,4	6,35
1H		995,6	543,6	458,7	998	10,2	10,2	6,2	6,3	6,35	6,25
1I		1007,9	556,1	465,3	1011,2	10,2	10,2	6,1	6,2	6,2	6,25

Fuente: Autores

A continuación, se procede a realizar los cálculos matemáticos teniendo en cuenta la siguiente metodología; con los datos de entrada, que son los presentados en la tabla anterior se reemplaza en las siguientes ecuaciones:

Para determinar el porcentaje total de vacíos:

$$V_v = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica (g/cm³).

G_{mb} = Gravedad específica bulk (g/cm³).

La gravedad específica máxima teórica se obtiene tomando los porcentajes y densidades relativas de los materiales utilizados en el diseño de la mezcla

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\%ag}{dag} + \frac{\%am}{dam} + \frac{\%af}{daf} + \frac{\%ca}{dca}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

%ag; %am; %f; %la = Porcentajes de agregado: grueso; medio; llenante mineral y cemento asfáltico (%).

dag; dam; df; dla = Densidades relativas de las partículas de los agregados grueso; medio; llenante mineral y cemento asfáltico (g/cm³).

Y la gravedad específica buk se obtiene utilizando el papel vinipel con densidad real de 0,47(g/cm³).

$$G_{mb} = \frac{M_a}{M_{af} - M_i - \frac{M_v}{d_v}} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Ma = Masa del briqueta seco en el aire (g).

Maf = Masa del briqueta seco en el aire + papel vinipel (g).

Mi = Masa del briqueta seco en el aire + papel vinipel inmerso en agua (g).

Mv = Masa del papel vinipel (Paf – Pa) (g).

dv = Peso específico do papel filme (0,47 g/cm³).

Y finalmente para a determinación de los vacíos comunicantes e ineficaces se toman os datos de entrada de diámetro y altura de las briquetas y se reemplazan en las siguientes ecuaciones:

$$V_a = \frac{a-d}{d_{agua}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Va = Volumen de aire en el briqueta (cm³).

a = Masa briqueta seco en el aire (g).

d = Masa briqueta sumergido en agua (g).

dagua = densidad del agua (g/ cm³).

$$V_c = \frac{V - V_a}{V} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Vc = Vacíos comunicantes de la mezcla MAD (%).

V = Volumen de un briqueta (cm³).

Va = Volumen de aire en el briqueta (cm³).

$$V_i = V_v - V_c \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Vi = Vacíos ineficaces de la mezcla MAD (%).

Vv = Vacíos totales de la mezcla MAD (cm³).

Vc = Vacíos comunicantes de la mezcla MAD (cm³)

Tabla 6 Porcentaje total de vacíos para briquetas con sustitución del 100% de filler por CAL

BRIQUETA (cm ³)	VOLUMEN BRIQUETA (cm)	Gmm (g/cm ³)	Gmb (g/cm ³)	Vv (cm ³)	Va (cm ³)	Vc (%)	Vi (%)
1A	537,06	244,06	186,42	23,62	451,50	15,93	7,69
1B	517,85	244,06	188,75	22,67	449,70	13,16	9,51
1C	542,37	244,06	186,75	23,48	449,30	17,16	6,32
1D	548,50	244,06	187,19	23,30	450,90	17,79	5,51
1E	511,73	244,06	195,47	19,91	453,20	11,44	8,47
1F	517,86	244,06	188,27	22,86	453,00	12,52	10,34
1G	513,80	244,06	186,37	23,64	454,90	11,46	12,18
1H	512,75	244,06	186,37	23,64	452,00	11,85	11,79
1I	505,60	244,06	187,04	23,37	451,80	10,64	12,73

Fuente: Autores

Tabla 7 Densidad Relativa para cada agregado según el tamizado

PORCIONES AGREGADOS		
AGREGADO	% que retiene	DENSIDAD RELATIVA
GRUESO (1/2,3/8)	33,9025	2,64
MEDIO (N° 4,20,40,200)	56,8225	2,64
FINO O LLENANTE MINERAL (pasa 200)	4,775	2,21
CEMENTO ASFALTICO	4,5	1,012

Fuente: Autores

El anterior procedimiento esta realizado al diseño de Mezcla Asfáltica Drenante con sustitución del 100% del filler por cal hidratada, de la misma manera se hace con los dos diseños que restan, presentados a continuación:

- Mezcla Asfáltica Drenante con sustitución del 50% del filler por cal hidratada

Ilustración 40 Peso Sumergido de briqueta con vinipel



Fuente: Autores

Ilustración 41 Peso sumergido de briqueta 2E



Fuente: Autores

Tabla 8 Pesos, Alturas y diámetros de briquetas con sustitución del 50% de filler por CAL.

BRIQUETA	TIPO DISEÑO	PESO SECO (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO CON VINIPEL (g)	PESO SUMERGIDO CON VINIPEL (g)	DIAMETRO 1 (cm)	DIAMETRO 2 (cm)	ALTURA 1 (cm)	ALTURA 2 (cm)	ALTURA 3 (cm)	ALTURA 4 (cm)
2A	SUSTITUCIÓN 50% FILLER POR CAL HIDRATADA	988,9	555,7	991,1	458,7	10,2	10,2	6,35	6,3	6,4	6,35
2B		1001,4	557,6	1003,8	488	10,2	10,2	6,15	6,2	6,25	6,2
2C		997,7	557	1000,5	470,3	10,1	10,2	6,7	6,3	6,35	6,3
2D		993	553,4	996,3	472,5	10,2	10,2	6,3	6,35	6,4	6,35
2E		984,8	557,9	987,6	491,4	10,1	10,2	6,1	6,15	6,1	6
2F		989,6	560,3	992,8	493,9	10,1	10,2	6,1	5,9	6	6,1
2G		993,5	558,4	997,1	484,2	10,2	10,2	6,2	6,15	6,2	6,2
2H		998	552,4	1001,9	483,1	10,1	10,2	6,3	6,3	6,35	6,3
2I		989,5	553,9	993,6	470,4	10,2	10,2	6,3	6,3	6,3	6,3

Fuente: Autores

Tabla 9 Porcentaje total de vacíos para briquetas con sustitución del 50% de filler por CAL

BRIQUETA	VOLUMEN BRIQUETA	Gmm	Gmb	Vv	Va	Vc	Vi
2A	518,88	244,86	187,39	23,47	433,20	16,51	6,96
2B	506,62	244,86	196,09	19,92	443,80	12,40	7,52
2C	518,86	244,86	190,31	22,28	440,70	15,06	7,21
2D	518,88	244,86	192,15	21,53	439,60	15,28	6,25
2E	492,56	244,86	200,88	17,96	426,90	13,33	4,63
2F	487,50	244,86	201,10	17,87	429,30	11,94	5,93
2G	505,60	244,86	196,64	19,69	435,10	13,94	5,75
2H	510,77	244,86	195,49	20,16	445,60	12,76	7,40
2I	514,79	244,86	192,33	21,45	435,60	15,38	6,07

Fuente: Autores

- Mezcla Asfáltica Drenante muestra de control

Tabla 10 Pesos, Alturas y diámetros para briquetas de control

BRIQUETA	TIPO DISEÑO	PESO SECO (g)	PESO SUMERGIDO (g)	PESO CON VINIPEL (g)	PESO SUMERGIDO CON VINIPEL (g)	DIAMETRO 1 (cm)	DIAMETRO 2 (cm)	ALTURA 1 (cm)	ALTURA 2 (cm)	ALTURA 3 (cm)	ALTURA 4 (cm)
3A	MUESTRA DE CONTROL	979,6	561,7	982,2	459,3	10,1	10,2	5,9	5,85	5,8	5,85
3B		1011	584,8	1014	490,4	10,2	10,2	6	6,1	6,1	6,05
3C		1005	575,8	1007	487,2	10,2	10,2	5,9	5,85	5,95	5,9
3D		995,4	572,8	998,1	475,8	10,2	10,2	5,9	5,95	6	5,95
3E		995,1	574	998,5	476,2	10,2	10,2	5,8	6	6,05	5,9
3F		990,6	571	993,6	471,7	10,2	10,2	5,9	5,95	5,95	6
3G		996,9	576,4	1000	484,5	10,2	10,2	5,95	6	6,1	6,05
3H		990,7	570,9	992,2	469,6	10,2	10,2	6	5,95	5,99	6
3I		1013	587,7	1016	491,7	10,2	10,2	6,1	6,15	6,05	6,1

Fuente: Autores

Tabla 11 Porcentaje total de vacíos para briquetas de control

BRIQUETA	VOLUMEN BRIQUETA (cm ³)	Gmm (g/cm ³)	Gmb (g/cm ³)	Vv (cm ³)	Va (cm ³)	Vc (%)	Vi(%)
3A	473,35	245,66	188,28	23,36	417,90	11,71	11,65
3B	495,38	245,66	194,25	20,93	425,90	14,03	6,90
3C	482,11	245,66	194,04	21,01	429,50	10,91	10,10
3D	486,19	245,66	191,57	22,02	422,60	13,08	8,94
3E	485,17	245,66	191,77	21,94	421,10	13,21	8,73
3F	486,19	245,66	190,90	22,29	419,60	13,70	8,59
3G	492,32	245,66	194,56	20,80	420,50	14,59	6,21
3H	489,05	245,66	190,12	22,61	419,80	14,16	8,45
3I	498,45	245,66	194,41	20,86	424,80	14,78	6,09

Fuente: Autores

Tabla 12 Densidad Relativa para cada agregado según el tamizado

PORCIONES AGREGADOS		
AGREGADO	% que retiene	DENSIDAD RELATIVA
GRUESO (1/2,3/8)	33,9025	2,64
MEDIO (N° 4,20,40,200)	56,8225	2,64
FINO (pasa 200)	4,775	2,21
CEMENTO ASFALTICO	4,5	1,012

Fuente: Autores

Con los resultados obtenidos de porcentaje de vacíos en cada una de las briquetas con los 3 diseños de mezcla propuestos en la investigación, se evidencian que la gran mayoría (81.48%) de las briquetas tienen el porcentaje de vacíos que el artículo 453 especifica, además cumplen con el parámetro de permeabilidad al permitir el paso de 100 ml de agua en menos de 15 segundos.

TRACCIÓN

A continuación, se procede a fallar las briquetas y se obtienen estos resultados:

Ilustración 42 Falla a tracción de briqueta 2l



Fuente: Autores

Ilustración 43 Falla a tracción de briqueta 2h



Fuente: Autores

Ilustración 44 Falla a tracción de briqueta 1g



Fuente: Autores

- **FALLA DE BRIQUETAS (TRACCIÓN SECA)**

Tabla 13 Resultados de fallo a tracción seca, carga máxima (3 tipos de Briqueta)

TRACCIÓN SECA		
SUST. 100% FILLER (N)	SUST. 50% FILLER (N)	MUESTRAS DE CTRL. (N)
9,52	10,92	10,58
8,59	8,49	9,47
9,06	8,95	9,65

Fuente: Autores

La resistencia a la tensión se calcula de acuerdo con la norma INV E-725 con la ecuación:

$$R_T = \frac{2000 * P}{\pi * t * D} \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

R_T = Resistencia a la tensión (KPa).

P = Carga máxima (N).

t = Altura de briqueta (mm)

D= Diámetro de briqueta (mm)

Tabla 14 Promedio tracción seca

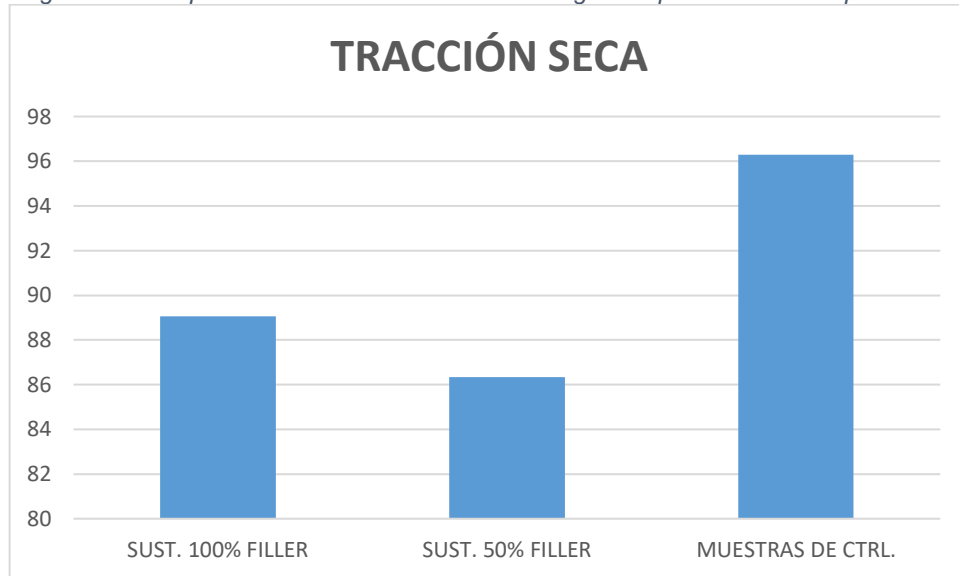
SUST. 100% FILLER (KPa)	SUST. 50% FILLER (KPa)	MUESTRAS DE CTRL. (KPa)
89,061	86,335	96,298

Fuente: Autores

Para los valores anteriores las briquetas falladas fueron:

- Sustitución 100% filler por CAL :1g-1h-1i
- Sustitución 50% filler por CAL :2g-2h-2i
- Briquetas de control :3g-3h-3i

grafica 4 Comparación de fallo a Tracción seca según el tipo de sustitución por CAL.



Fuente: Autores

El gráfico representa el promedio de valores de resistencia en los 3 diseños propuestos para la investigación al fallar las briquetas a tracción indirecta como lo indica la norma INV E-725 en estado seco.

- FALLA DE BRIQUETAS (TRACCIÓN HÚMEDA)**

Tabla 15 Resultados de fallo a tracción húmeda (3 tipos de Briqueta)

TRACCIÓN HÚMEDA		
SUST. 100% FILLER (N)	SUST. 50% FILLER (N)	MUESTRAS DE CTRL. (N)
2,5	1,82	3,18
2,97	7,17	3,65
4,09	8,49	10,63

Fuente: Autores

Tabla 16 Promedio tracción húmeda

SUST. 100% FILLER (KPa)	SUST. 50% FILLER (KPa)	MUESTRAS DE CTRL. (KPa)
28,7312243	78,0025948	34,3706231

Fuente: Autores

Para los valores anteriores las briquetas falladas fueron:

- Sustitución 100% filler por CAL: 1d-1e-1f
- Sustitución 50% filler por CAL: 2d-2e-2f
- Briquetas de control :3d-3e-3f

Ilustración 45 Briquetas sumergidas a 60°C



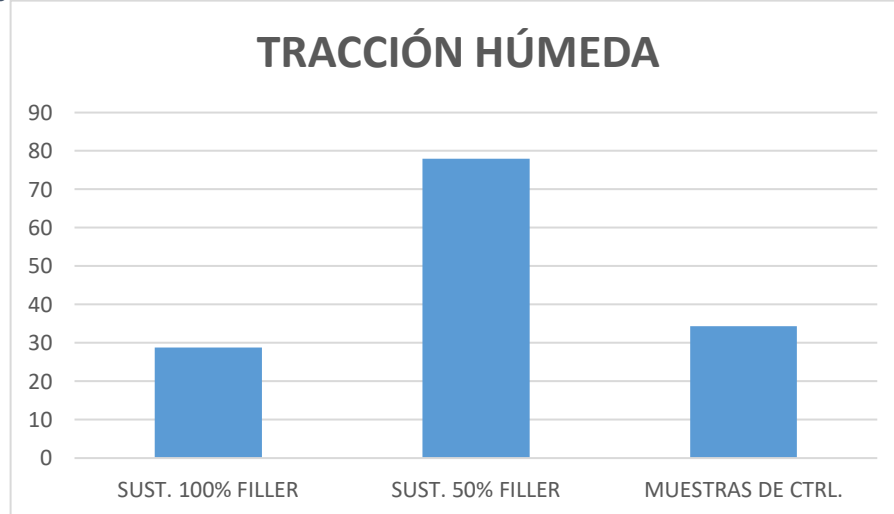
Fuente: Autores

Ilustración 46 Falla a tracción de briqueta 3e



Fuente: Autores

grafica 5 Comparación de fallo a Tracción húmeda según el tipo de sustitución por CAL



Fuente: Autores

El gráfico representa el promedio de valores de resistencia en los 3 diseños propuestos para la investigación al fallar las briquetas a tracción indirecta como lo indica la norma INV E-725 en estado húmedo, al dejar por 24 horas las briquetas en agua a 60°C se evidencia una reducción bastante considerable en la resistencia de los diseños de muestra de control y en la sustitución de filler al 100% por cal hidratada; mientras que en la sustitución de filler al 50% por cal hidratada presenta valores más cercanos a los presentados en la tracción indirecta en estado seco.

El valor más alto de resistencia en estado húmedo se presenta un espécimen de la muestra de control con una variación respecto a las otras al haber dejado por 24 horas dicha briketa en agua a una temperatura de 17°C.

CANTABRO

Los especímenes que tuvieron desgaste por abrasión presentan los siguientes datos:

Ilustración 47 Briquetas antes de someterlas a máquina de los ángeles.



Fuente: Autores

Ilustración 48 Briquetas después de someterlas a máquina de los ángeles.



Fuente: Autores

Ilustración 49 Briquetas sometidas a tracción (fondo) y abrasión



Fuente: Autores

Tabla 17 Masa inicial VS masa final de briquetas sometidas a abrasión (máquina de los ángeles)

MASA INICIAL			MASA FINAL		
SUST. 100% FILLER	SUST. 50% FILLER	MUESTRAS DE CTRL.	SUST. 100% FILLER	SUST. 50% FILLER	MUESTRAS DE CTRL.
1009,3	988,9	979,6	647,2	723,6	803,2
990,3	1001,4	1010,7	661,7	738,1	810,9
1003,7	997,7	1005,3	654,6	725,1	766,6

Fuente: Autores

Fuente: Autores

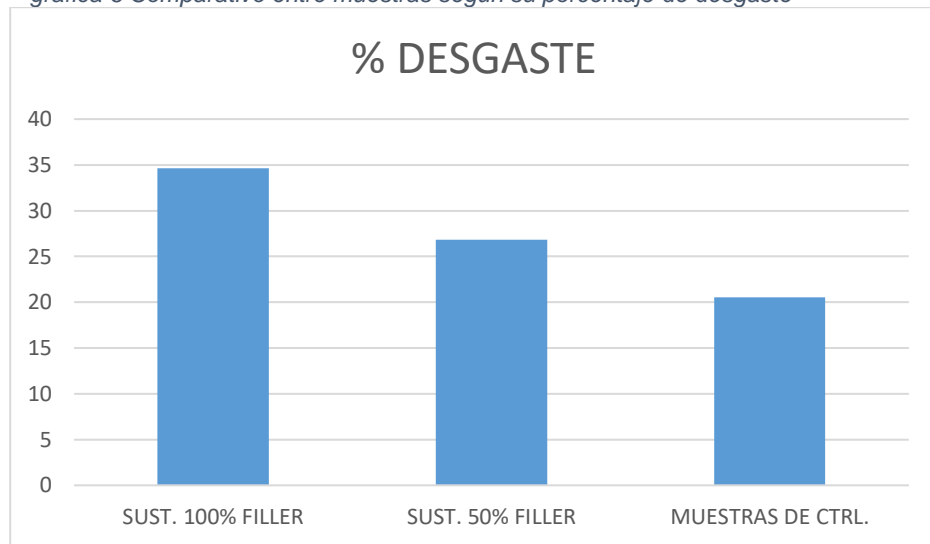
El porcentaje de desgaste es:

Tabla 18 Porcentaje (%) de desgaste para briquetas sometidas a abrasión

% DESGASTE		
SUST. 100% FILLER	SUST. 50% FILLER	MUESTRAS DE CTRL.
35,8763499	26,8277885	18,0073499
33,1818641	26,2931895	19,7684773
34,7813092	27,3228425	23,744156

Fuente: Autores

grafica 6 Comparativo entre muestras según su porcentaje de desgaste



Fuente: Autores

De acuerdo con los resultados obtenidos, la gráfica en muestras de control presenta valores constantes para el desgaste, todos los especímenes presentaron pérdidas de material similar, mientras que los diseños modificados tienen pérdidas superiores al 40%, lo cual no es recomendable para una carpeta asfáltica, en este caso no para una carpeta asfáltica modificada.

Para los valores anteriores las briquetas falladas fueron:

- Sustitución 100% filler por CAL: 1a-1b-1c
- Sustitución 50% filler por CAL: 2a-2b-2c
- Briquetas de control :3b-3b-3c

10. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el artículo 453 la relación de vacíos en las mezclas drenantes debe estar entre 20% y 25%, estos valores se presentan en el 81.48% de los especímenes elaborados, lo que quiere decir que 22 de las 27 briquetas elaboradas cumplen a cabalidad con el porcentaje de vacíos requeridos y además la capacidad de drenaje es la suficiente al permitir el paso de 100ml de agua en menos de 15 segundos a través de las briquetas. Las muestras de control y las modificadas cumplen con el porcentaje de vacíos y la permeabilidad permitida por la norma.
- El impacto en la cotidianidad frente al diseño de mezclas asfálticas se puede ver reflejado en los costos tanto para el constructor como para el cliente, ya que este llenante mineral es bastante económico y según la investigación realizada se puede emplear al sustituir el 50 % de filler con un comportamiento ideal en cualquier estructura.
- Los valores de resistencia obtenidos al fallar las probetas por tracción indirecta en estado seco como lo indica la norma INV E-725 evidencia que el mejor comportamiento está dado en las muestras de control y el comportamiento más bajo en las briquetas con la sustitución al 50% de filler por cal hidratada.
- Los valores de resistencia obtenidos al fallar las probetas por tracción indirecta en estado húmedo como lo indica la norma INV E-725 evidencia que el mejor comportamiento está dado en las briquetas con sustitución al 50% de filler por cal hidratada, lo que indica que no se ven afectadas por altas temperaturas ni por la humedad, y, el comportamiento más bajo se da en las briquetas de la sustitución del 100% del filler por cal hidratada.
- El desgaste por abrasión presentado en las muestras de control es el permitido por el artículo 453 ya que no son superiores al 25% y el desgaste obtenido en las briquetas con sustitución del 50% del filler por cal hidratada

es muy cercano al valor permitido en el artículo 453 al obtener valores de desgaste de 26% y 27%.

- La utilización de la cal hidratada como material alternativo para el diseño de mezclas asfálticas drenantes presenta variedad de resultados, en los que se puede concluir que la mejor opción para realizar diseños alternativos sería con la sustitución del 50% del filler.

11.RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos de los diferentes ensayos, se recomienda trabajar las mezclas asfálticas drenantes con la sustitución de 50% de filler por cal hidratada sin que se afecte el comportamiento de la mezcla, presenta mejores resultados en resistencia a tracción humedad, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las muestras de control.
- No se recomienda realizar la sustitución de filler al 100% por cal hidratada para la elaboración de mezclas asfálticas drenantes puesto que los resultados presentados de los ensayos a tracción húmeda y desgaste en a máquina de los ángeles (cántabro) no son satisfactorios, en comparación a los demás resultados presentados en esta investigación, presenta valores bastante bajos, un desgaste tan alto en los materiales no se puede utilizar en una carpeta asfáltica.
- Es conveniente presentar materiales alternativos para la elaboración de mezclas asfálticas, en el caso de realizar sustitución de filler por cal se evita realizar el tamizado y obtener la granulometría que pasa el tamiz #200 (ahorro de tiempo) esto como experiencia obtenida en la elaboración de las briquetas para la investigación y la cal es un material que se obtiene de manera comercial y es económico. Este último ítem era una conclusión y la pasé a recomendación.

12. ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACION

El fin de este proyecto es llegar a realizar un artículo con lo investigado, analizando, encontrado y concluido. Que pueda ser de fácil acceso a la comunidad educativa ya que este reposará en la biblioteca de la Universidad Católica de Colombia. En caso de llegar a tener un reconocimiento meritorio, se encaminará de la mejor manera para hacerlo llegar a diferentes comunidades educativas del país por medio de la web.

13. BIBLIOGRAFÍA

[1] *repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1307 (2017)*. Chacón Sánchez, Víctor Paucarmayta Olarte, Franks, Santa Cruz Valverde, José Antonio

[2] (Little (1996), Lesueur et al. (1998), y Lesueur y Little (1999)).

[3] MEZCLA DRENANTE ARTÍCULO 453 – 13/Capítulo 4 – PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Art. 453

[4] The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt - CiteSeerX (Mauget (1998)).

[5] Carol Patricia López Moreno. *Comportamiento mecánico de mezclas asfáltica drenante* [en línea]. [actualizado 3 de agosto de 2018]. [fecha de consulta 19 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/50603/1/25281594.2013.pdf>

[6] Colprensa y La Republica. *Mal estado de las vías en Colombia generan 35% en sobre costos a transportadores* [en línea]. Elpais.com.co [fecha de consulta 19 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/economia/mal-estado-de-vias-en-colombia-generan-35-en-sobrecostos-a-transportadores.html>

[7] Gerson Javier Pérez V. *infraestructura del transporte vial y l movilización de carga en Colombia*. Banco de la Republica(CEER) [fecha de consulta 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elpais.com.co/economia/mal-estado-de-vias-en-colombia-generan-35-en-sobrecostos-a-transportadores.html>

[8] Grupo técnico – Convenio 587 de 2003 Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá e INVIAS. *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, Manual para la inspección visual de pavimentos flexible*. [en

línea]. [actualizado octubre de 2006]. [fecha de consulta septiembre 18 de 2018]. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

[9] INTERPAVE. Permeable pavements. www.paving.org.uk, dezembro de 2008 Edição 5, 80 páginas.

[10] OGFC (Tan et al 1997). <http://bdigital.unal.edu.co/50603/1/25281594.2013.pdf>

[11] Effect and efficiency of rejuvenators on aged asphalt binder – Germany Radenberg (1998)

[12] The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete (Verhasselt (1996). /Verhasselt & Choquet (1993))

[13] Luxenburk (1998). THE BENEFITS OF HYDRATED LIME IN HOT MIX ASPHALT <https://www.lime.org/documents/benefit-asphalt.pdf>

[14] Sustainability, Eco-efficiency, and Conservation in Transportation ([Hopman (1996))

[15] TRB Bituminous Materials Abstracts and - Purdue Engineering (Recasens et Alabama. (2005)).

[16] ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E HIDRÁULICAS DO CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE/UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-FACULDADE DE TECNOLOGIA

[17] Artículo 453 – 13 MEZCLA DRENANTE [en línea] [fecha de consulta: 8 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://giv.com.co/invias2013/453%20MEZCLA%20DRENANTE.pdf> (página 5)

[18] Mechanical characterization of porous asphalt mixes modified with fatty acid amides -FAA- 37(1), 43-48. DOI: 10.15446/ing.investig.v37n1. 57158.

[19] Ficha técnica caltek, cal 90 Hidratada <http://caltek.com.co/portfolio/cal-hidratada/>

[20] INVESTIGACIÓN SOBRE EL EFECTO DEL AGUA EN EL ASFALTO Y SU IMPACTO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA/ PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA/ ANA SOFÍA FIGUEROA INFANTE/ 2015.